

**PRARANCANGAN PABRIK ETIL KLORIDA  
DENGAN PROSES HIDROKLORINASI ETANOL  
KAPASITAS 40.000 TON PER TAHUN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik**

**Oleh**

**ANGGA FREDO NUGROHO**

**D 500 120 064**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2017**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PRARANCANGAN PABRIK ETIL KLORIDA  
DENGAN PROSES HIDROKLORINASI ETANOL  
KAPASITAS 40.000 TON/TAHUN**

**PUBLIKASI ILMIAH**

Oleh

ANGGA FREDO NUGROHO

D 500 120 064

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen  
Pembimbing



Ir. Nur Hidayati, M.T., Ph.D

NIK. 975

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**PRARANCANGAN PABRIK ETIL KLORIDA**  
**DENGAN PROSES HIDROKLORINASI ETANOL**  
**KAPASITAS 40.000 TON PER TAHUN**

Oleh :  
**ANGGA FREDO NUGROHO**  
D 500 120 064

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Senin, 06 Februari 2017  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Ir. Haryanto AR, M.S.

(Ketua Dewan Penguji)



2. Eni Budiyati, S.T., M.Eng.

(Anggota I Dewan Penguji)

()


3. Ir. Nur Hidayati, M.T., Ph.D.

(Anggota II Dewan Penguji)

()

Dekan Fakultas Teknik



  
**Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.**  
NIK. 682

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, Maret 2017

Penulis



Angga Fredo Nugroho  
D 500 120 064

**PRARANCANGAN PABRIK ETIL KLORIDA DENGAN PROSES  
HIDROKLORINASI ETANOL  
KAPASITAS 40.000 TON PER TAHUN**

**Abstrak**

Prarancangan pabrik etil klorida dengan proses hidroklorinasi etanol bertujuan untuk memenuhi kebutuhan etil klorida dalam negeri dan tidak menutup kemungkinan untuk diekspor. Etil klorida diproduksi dengan cara mereaksikan antara etanol dan asam klorida. Proses produksi dilakukan di dalam Reaktor *Fixed Bed Multi Tube*. Lokasi pabrik etil klorida dari etanol dan asam klorida dengan kapasitas 40.000 ton per tahun direncanakan akan didirikan di Cilegon, Banten, Jawa Barat. Etil klorida digunakan pada industri untuk pembuatan etil selulosa untuk meningkatkan elastisitas plastik, etil alumunium untuk pembuatan katalis *zieger*, dan sebagai solven.

Reaksi berlangsung pada fase gas, dengan suhu 325°C dan tekanan 6 atm. Reaksi pembentukan etil klorida ini menghasilkan konversi produk total 94,7%. Pabrik etil klorida ini membutuhkan bahan baku etanol sebanyak 3.570,9740 kg per jam, dan untuk asam klorida sebanyak 3.000,1132 kg per jam menghasilkan etil klorida 5.050,5051 kg per jam. Utilitas pendukung proses yang dibutuhkan antara lain 40.739,68049 kg per jam air, 283,22 kW listrik, serta 2.949,43 liter per jam bahan bakar. Untuk memenuhi kebutuhan air pabrik etil klorida ini digunakan air yang berasal dari air sungai terbesar yang ada di Cilegon yaitu sungai Ciujung (Bukhanko, 2016).

Dari hasil analisis ekonomi menunjukkan *Percent Return On Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 29,48% dan *Percent Return On Investment* (ROI) setelah pajak sebesar 14,74%. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak selama 2,5 tahun sedangkan *Pay Out Time* (POT) setelah pajak selama 4,0 tahun. *Break Even Point* (BEP) sebesar 44,81%, dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 28,29%. *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 33%. Dari data analisis ekonomi terhadap pabrik ini dapat disimpulkan bahwa pabrik etil klorida dari etanol dan asam klorida kapasitas 40.000 ton per tahun ini menguntungkan dan layak untuk didirikan.

**Kata kunci:** etil klorida, hidroklorinasi etanol, Reaktor *Fixed Bed Multi Tube*

**Abstract**

*Preliminary design of ethyl chloride using ethanol hydrochlorination is to meet the need of ethyl chloride in Indonesia and the possibility to be exported. Ethyl chloride is produced by reaction between ethanol and hydrochloric acid. The production process is done in a Fixed Bed Reactor Multi Tube. Ethyl chloride is going to be produced with a capacity of 40,000 tones per years in Cilegon, West Java. It is used for ethyl cellulose to improve the elasticity of the plastic, ethyl aluminum to produce catalysts zieger, and as a industrial solvent.*

*The reaction takes place in the gas phase, with a temperature of 325°C and a pressure of 6 atm. Reaction formation of ethyl chloride produces 94.7% of the total product conversion. The plant of ethyl chloride is feeded with ethanol*

3,570.9740 kg per hour, and hydrochloric acid 3,000.1132 kg per hour to produce ethyl chloride 5,050.5051 kg per hour. Supporting utilities require 40,739.68049 kg per hour of water, 283.22 kW of electricity, and 2,949.43 liters per hour of fuel. To meet the water needs of the plant ethyl chloride is used water from the largest river water in that river Ciujung Cilegon.

From the results of the economic analysis indicates Percent Return On Investment (ROI) before tax is amounted to 29.48% and Percent Return On Investment (ROI) after tax of 14.74%. Pay Out Time (POT) before tax for 2.5 years, while Pay Out Time (POT) after tax for 4.0 years. Break Even Point (BEP) is amounted to 44.81%, and Shut Down Point (SDP) is amounted to 28.29%. Internal Rate of Return (IRR) of 33%. Economic analysis of the data from this plant can be concluded that the ethanol plant of ethyl chloride and hydrochloric acid capacity of 40,000 tones per year is profitable and feasible to build. Keywords: ethyl chloride, hydrochlorination ethanol, Fixed Bed Reactor Multi Tube

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Pembangunan di Indonesia era globalisasi saat ini berkembang pesat, seiring dengan kebijakan pemerintah yang menitikberatkan pembangunan sektor industri. Pemerintah memberikan angin segar terhadap pertumbuhan industri, khususnya pada industri kimia. Pembangunan industri kimia ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri, dan dapat membuka lapangan pekerjaan baru.

Etil klorida merupakan senyawa organik yang reaktif, tidak larut dalam air atau pelarut organik, jernih atau tidak berwarna, pada suhu kamar berupa gas karena titik didihnya sangat rendah yaitu 12,3°C. Etil klorida pertama kali ditemukan oleh Basil Valensin pada tahun 1940. Etil klorida banyak diperlukan dalam bidang industri antara lain digunakan sebagai bahan baku pembuatan etil selulosa, cat, obat-obatan, dan *refrigerant*. Selain itu etil klorida juga banyak digunakan sebagai bahan anestetik, solven dan sebagai bahan industri plastik. Etil klorida merupakan bahan utama pembuatan butil *rubber*, senyawa organosilin dan *etilation agent* untuk memproduksi etil merkaptan yang digunakan pada ekstraksi minyak dan lemak (Kirk and Othmer, 2004).

Fungsi dari etil klorida digunakan untuk membuat etil selulosa yang berfungsi untuk meningkatkan elastisitas pada plastik sintesis, sebagai bahan baku pembuatan etil alumunium yang digunakan untuk pembuatan katalis Zieger,

sebagai solven untuk fosfor, sulfur, lemak, minyak resin, lilin, insektisida, dan lain-lain. Keuntungan lain yang diperoleh dari mendirikan pabrik etil klorida ini adalah:

- a. Memacu penggunaan etil sebagai bahan pembuatan etil selulosa yang dibutuhkan dalam industri polimer, terutama plastik sintesis yang sedang meningkat.
- b. Memacu pendirian perusahaan lain yang menggunakan etil klorida sebagai bahan baku.
- c. Mengurangi impor etil klorida.
- d. Membuka lapangan pekerjaan sehingga mengurangi jumlah pengangguran.

## **1.2. Kapasitas Perancangan Pabrik**

Pemilihan kapasitas etil klorida berdasarkan atas beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Proyeksi kebutuhan etil klorida dari tahun ke tahun di Indonesia

Kebutuhan etil klorida di Indonesia terus meningkat pada tahun-tahun yang akan datang. Hal ini dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini:

**Tabel 1. Data impor etil klorida (BPS, 2008- 20015)**

Tahun	Kebutuhan impor (ton per tahun)
2008	772,62
2012	7.27
2013	6.31
2015	17.94

2. Kapasitas Pabrik yang Sudah Beroperasi

Kapasitas produksi etil klorida yang direncanakan, ditentukan berdasarkan kebutuhan etil klorida dalam negeri dan dunia, serta kapasitas pabrik-pabrik yang telah memproduksi seperti terlihat dalam tabel 2 dibawah ini:

**Tabel 2. Data Pabrik Etil Klorida yang Sudah Didirikan**

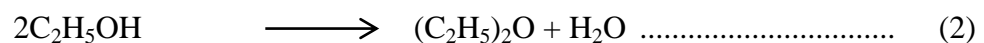
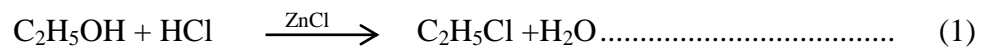
Produsen	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
<i>Dow Chemical</i>	<i>Freeport, Texas</i>	4.540
<i>Dupont</i>	<i>Deepwater, New Jersey</i>	45.400
<i>Ethyl Chloride</i>	<i>Pasadena, Texas</i>	72.600
PPG	<i>Lake Charles, LA</i>	56.700

Dilihat dari industri yang sudah beroperasi maka akan dirancang dengan kapasitas 40.000 ton per tahun. Diharapkan dengan kapasitas tersebut dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri, dan tidak menutup kemungkinan untuk diekspor keluar negeri.

## **2. METODE**

### **2.1. Dasar Reaksi**

Pembentukan etil klorida dari etanol dan asam klorida dengan katalis zing klorida, reaksi yang terjadi adalah:



### **2.2. Tinjauan Termodinamika**

Reaksi eksotermis dapat dilihat dari entalpi pembentukan standar



$\Delta H^\circ_f$  masing-masing komponen pada 298K, 1 atm adalah (Yaws, 1999):

Etanol = -234,81 kJ/mol

Asam klorida = -92,30 kJ/mol

Etil klorida = -111,71 kJ/mol

Air = -241,80 kJ/mol

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ_f \text{ reaksi} &= \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\ &= ((-111,71) + (-241,80)) - ((-234,81) + (-92,30)) \\ &= -26,4 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Reaksi yang terjadi secara *irreversible* dilihat dari harga konstanta kesetimbangan.



Perubahan energi Gibbs diperoleh dari persamaan:

$$\Delta G^\circ = RT \ln K$$

$\Delta G^\circ$  masing-masing komponen 298K adalah:

$$\text{Etanol} = -168,28 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{Asam klorida} = -95,30 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{Etil klorida} = -60,00 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{Air} = -228,60 \text{ kJ/mol}$$

$$\begin{aligned}\Delta G^{298}_{\text{reaksi}} &= \Delta G^{298}_{\text{produk}} - \Delta G^{298}_{\text{reaktan}} \\ &= ((-60,00) + (-228,60)) - ((-168,28) - (95,30)) \\ &= -25,02 \text{ kJ/mol} \\ &= -25020 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\ln K &= \Delta G^\circ / -RT \\ &= ((25020) \text{ J/mol}) / ((8,314) \text{ J/K mol} \cdot 298 \text{ K})\end{aligned}$$

$$\ln K = 10,0935$$

$$K^{298}_{\text{reaksi}} = 24185,678$$

Karena harga konstanta kesetimbangan (K) sangat besar, hal ini berarti reaksi berjalan ke kanan dan dianggap satu arah.

### 2.3. Langkah Proses

Dalam proses produksi etil klorida dapat dibagi dalam beberapa tahap, yaitu:

a. Tahap persiapan bahan baku

Asam klorida disimpan pada tangki penyimpanan (F-102) dalam fase cair, pada suhu 30°C pada tekanan 1 atm. Dialirkan menggunakan pompa (L-104) menuju *vaporizer* (V-102) bersama *recycle* hasil bawah *separator* (H-102). Pada *vaporizer* (V-102) difungsikan untuk merubah fase dari cair menjadi gas. Karena efisiensi *vaporizer* mencapai 80%, maka diperlukan *separator* untuk memisahkan antara gas dan cairan. Selanjutnya diumpankan ke kompresor (G-102) yang berfungsi untuk menaikkan tekanan dari 1 atm menjadi 6 atm dan diumpankan menuju *cooler* (E-111) yang berfungsi menurunkan suhu sampai dengan suhu reaksi pada reaktor.

Etanol disimpan pada tangki penyimpanan (F-101) dalam fase cair pada suhu 30°C pada tekanan 1 atm. Dialirkan menggunakan pompa (L-103) ke *vaporizer* (V-101) bersama *recycle* hasil bawah *separator* (H-101). Pada *vaporizer* (V-101) difungsikan untuk merubah fase cair menjadi gas. Karena efisiensi *vaporizer* mencapai 80%, maka diperlukan *separator* (H-101) untuk memisahkan antara gas dan cairan. Selanjutnya diumpankan ke kompresor (G-101) yang berfungsi untuk menaikkan tekanan 1 atm menjadi 6 atm dan diumpankan menuju *heat exchanger* (E-101) yang berfungsi menaikkan suhu sampai titik didih kondisi umpan reaktor.

b. Tahap pembentukan produk

Pada reaktor (R) difungsikan untuk mereaksikan antara etanol dan asam klorida membentuk etil klorida pada kondisi suhu 325°C, tekanan 6 atm, non adiabatik, irreversibel dan eksotermis.

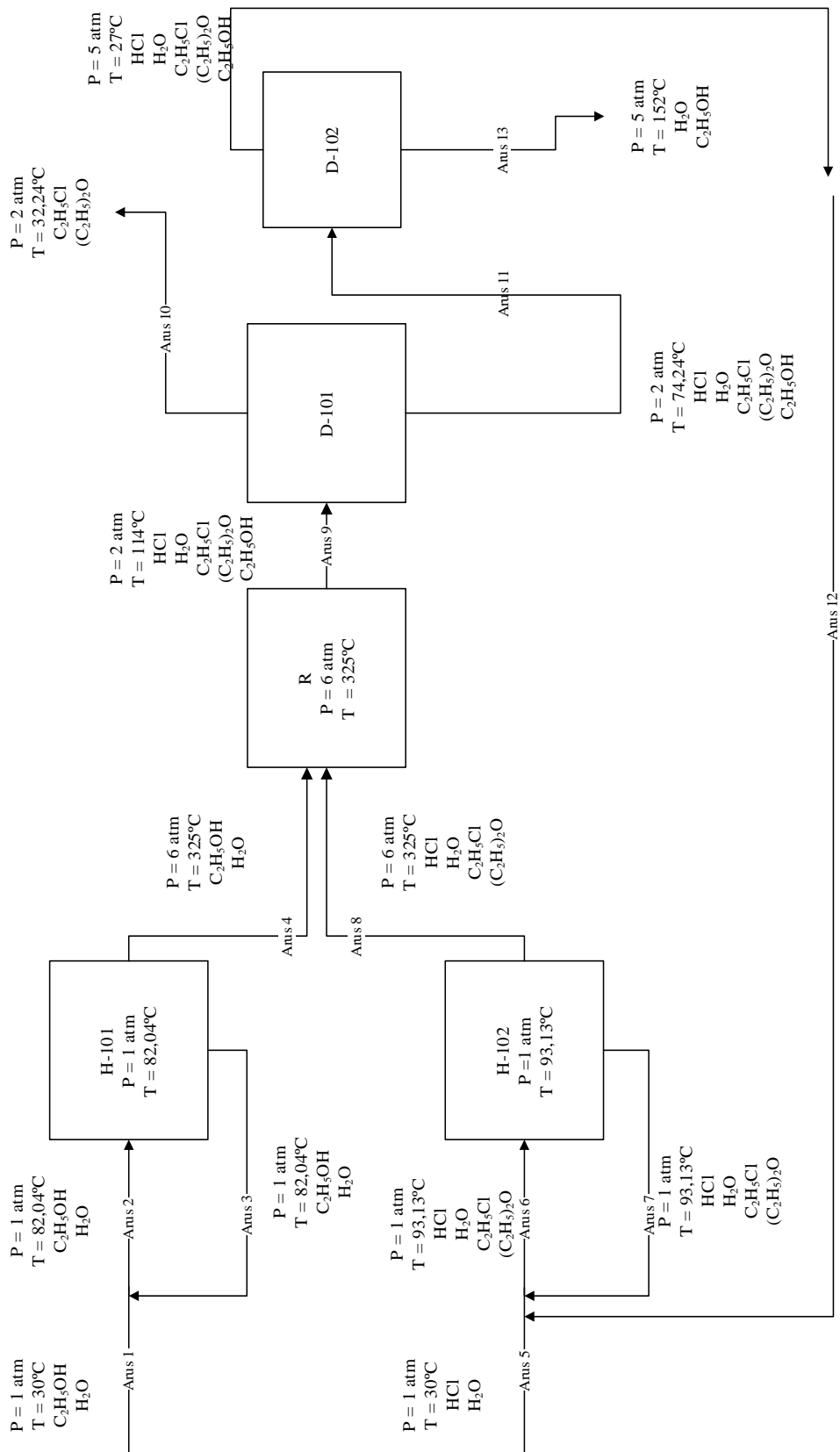
Reaksi:



Reaktor yang digunakan adalah *fixed bed multi tube* dengan media pendingin air untuk mengontrol suhu agar masuk *range* suhu reaksi. Produk reaktor suhu 325°C dengan tekanan 5,8 atm dialirkan menuju menara distilasi (D-101).

c. Tahap pemurnian produk

Produk keluar reaktor dalam kondisi suhu 325°C dan tekanan 5,8 atm. Diumpankan ke *expander* (G-111) berfungsi untuk menurunkan tekanan produk menjadi 2 atm. Karena apabila produk dalam kondisi dibawah 2 atm, akan menjadi gas, dikarenakan titik didih etil klorida yang sangat kecil. Selanjutnya produk dialirkan menuju menara distilasi (D-101). Untuk bagian atas menara distilasi, akan didapatkan etil klorida 99% dan dietil eter 1% dalam bentuk cair dan akan dialirkan dengan pompa (L-105) menuju tangki penyimpanan (F-103), dan produk siap dipasarkan. Sedangkan untuk bagian bawah menara distilasi (D-101) terdapat 5 komponen yakni etil klorida, dietil eter, asam klorida, etanol dan air yang kemudian dialirkan menuju menara distilasi (D-102) berfungsi memurnikan etanol dan asam klorida dan mengurangi jumlah air yang selanjutnya *direcycle* atau diproses ulang menuju *vaporizer* (V-102).



Gambar 1. Diagram Alir Kualitatif

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil

##### 3.1.1. Spesifikasi Alat

a. Reaktor

Kode : R

Fungsi : Tempat berlangsungnya reaksi antara etanol dan asam klorida menjadi etil klorida kapasitas 40.000 ton/tahun

Jenis : *Fixed bed multi tube*

Spesifikasi

Kondisi

a. Suhu : 325°C

b. Tekanan : 6 atm

c. Konversi : 94,7%

d. Fase reaksi: gas

Dimensi

a. Diameter : 3,9624 m

b. Tinggi : 9,5250 m

c. Tebal *shell* : 0,0095 m (0,375 in)

d. Jumlah tube : 4.000

e. Waktu tinggal : 87,7273 menit

f. Bahan : *Stainless Steel SA-304*

b. Manara Distilasi (D-101)

Kode : D-101

Fungsi : Memisahkan etil klorida dari komponen lain dengan umpan sebanyak 12.561,50 kg/jam

Jenis : *Plate sieve tray column*

Bahan : *Stainless Steel SA-304*

Tinggi : 7 m

Jumlah *plate* aktual : 33 *stage*

Seksi *stripping* (bawah) : 16 buah

Seksi *enriching* (atas) : 17 buah

Diameter : 1,62 m  
 Tebal *head* : 0,0047 m (0,1875 in)  
 Tebal *shell* : 0,0047 m (0,1875 in)  
 Jarak antar *tray* : 0,3 m  
 Umpan masuk : Tray nomer 17

Kondisi atas (*enriching*)

- a. *FLV* : 0,0669
- b. *Uf* : 0,7882 m/s
- c. *An* : 3,2164 m<sup>2</sup>
- d. *AD* : 0,2474 m<sup>2</sup>

Kondisi bawah (*stripping*)

- a. *FLV* : 0,0648
- b. *Uf* : 1,5901 m/s
- c. *An* : 1,8143 m<sup>2</sup>
- d. *AD* : 0,2474 m<sup>2</sup>

Jumlah : 1 buah

c. Menara Distilasi (D-102)

Kode : D-102  
 Fungsi : Memisahkan etanol dan asam klorida serta mengurangi jumlah H<sub>2</sub>O dengan umpan sebanyak 7.578,10 kg/jam  
 Jenis : *Plate sieve tray column*  
 Bahan : *Stainless Steel SA-304*  
 Tinggi : 7 m  
 Jumlah *plate* aktual : 22 *stage*  
 Seksi *stripping* (bawah) : 18 buah  
 Seksi *enriching* (atas) : 4 buah  
 Diameter : 1,07 m  
 Tebal *head* : 0,0062 m (0,25 in)  
 Tebal *shell* : 0,0047 m (0,1875 in)  
 Jarak antar *tray* : 0,3 m

Umpan masuk : Tray nomer 4

Kondisi atas (*enriching*)

- e.  $FLV$  : 0,0697
- f.  $Uf$  : 0,8566 m/s
- g.  $An$  : 0,6902 m<sup>2</sup>
- h.  $AD$  : 0,1085 m<sup>2</sup>

Kondisi bawah (*stripping*)

- e.  $FLV$  : 0,1053
- f.  $Uf$  : 1,0520 m/s
- g.  $An$  : 0,7960 m<sup>2</sup>
- h.  $AD$  : 0,1085 m<sup>2</sup>

Jumlah : 1 buah

(Brownell, 1959 ; Coulson, 1989 ; Kern, 1983)

## 3.2. Pembahasan

### 3.2.1. Unit Pendukung Proses dan Laboratorium

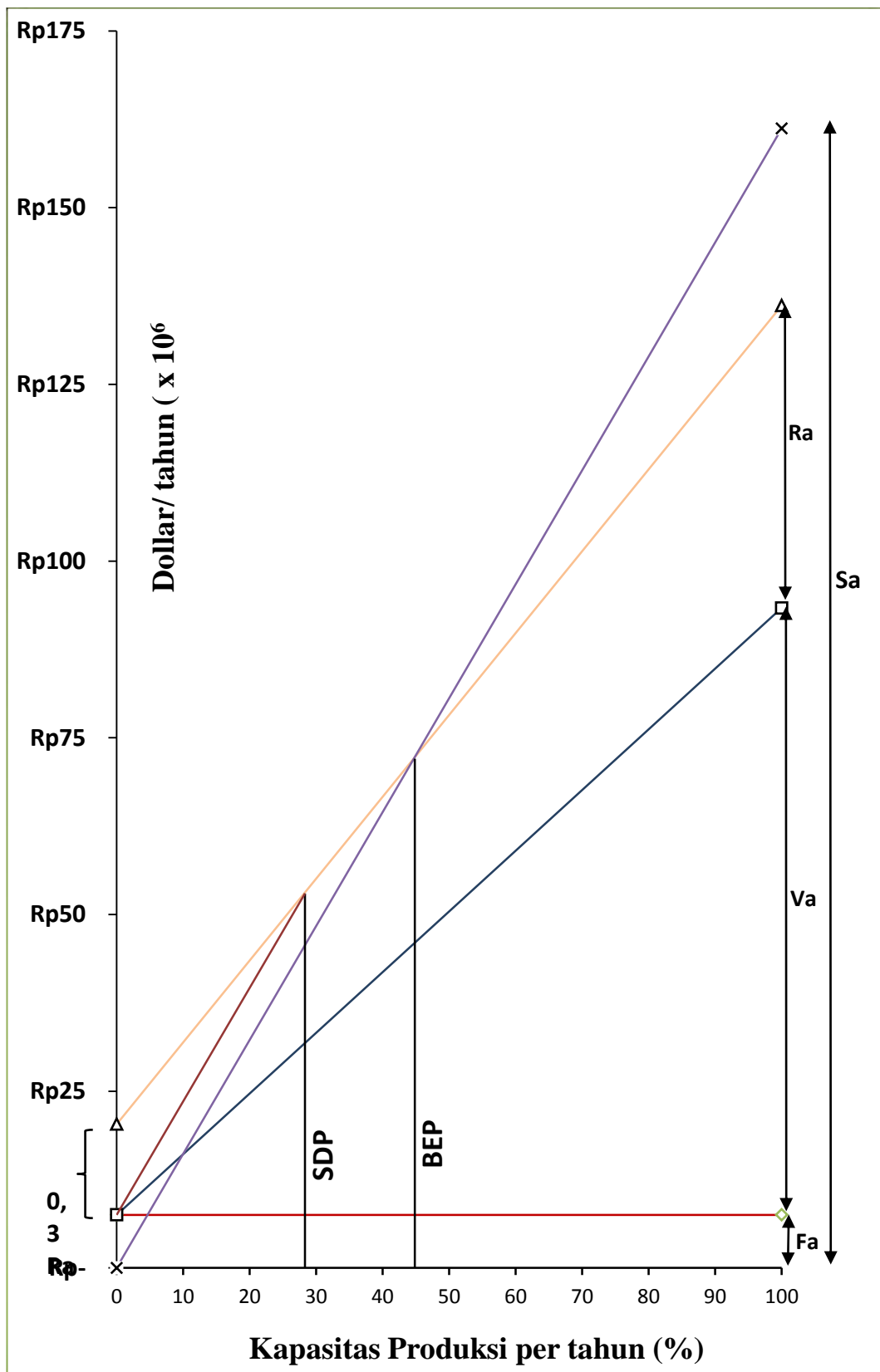
Utilitas pendukung proses yakni kebutuhan air total secara kontinyu sebanyak 40.739,68049 kg/jam yang diperoleh dari air sungai. Masing-masing meliputi penyediaan air pendingin sebesar 14.004,42 kg/jam, penyediaan air domestik sebesar 660,625 kg/jam dan penyediaan steam sebesar 26.074,64 kg/jam yang diperoleh dari boiler dengan bahan bakar *fuel oil* sebesar 2.904,61 liter/jam. Kebutuhan udara tekan sebesar 150 m<sup>3</sup>/jam. Kebutuhan listrik diperoleh dari PLN sebesar 283,22 kW dan disediakan satu buah *turbin/genset* sebesar 350 kW sebagai cadangan, jika sewaktu-waktu listrik padam. Bahan bakar sebesar 44,82 liter/jam. Total kebutuhan bahan bakar sebanyak 2.949,43 liter/jam.

### 3.2.2. Manajemen Perusahaan

Pabrik etil klorida dengan proses hidroklorinasi etanol didirikan dengan bentuk manajemen Perseroan Terbatas (PT). Kapasitas produksi sebesar 40.000 ton per tahun yang akan didirikan di kawasan industri Cilegon, Banten, Jawa Barat. Pabrik akan memiliki jumlah karyawan 300 orang.

### **3.2.3. Analisis Ekonomi**

Dari analisis ekonomi pada pabrik Etil Klorida ini menunjukkan keuntungan sebelum pajak sebesar Rp 244.481.202.337 /tahun, sedangkan keuntungan sesudah pajak 50% sebesar Rp 122.240.601.168 /tahun. *Percent Return On Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 29,48% dan *Percent Return On Investment* (ROI) sesudah pajak sebesar 14,74%. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak selama 2,5 tahun dan *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak selama 4,0 tahun. *Break Even Point* (BEP) sebesar 44,81% dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 28,29%. *Internal Rate of Return* (IRR) terhitung sebesar 33%.



Gambar 2. Grafik Analisis Ekonomi



## 4. PENUTUP

### 4.1. Kesimpulan

Pabrik etil klorida digolongkan pabrik yang beresiko tinggi dengan bahan baku yang korosif serta kondisi operasi yang tinggi pada suhu  $325^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 6 atm. Dari analisa pembentukan pabrik ini dapat disimpulkan bahwa proyek pendirian pabrik cukup menarik untuk dipertimbangkan lebih lanjut karena memiliki indikator perekonomian yang relatif baik, yaitu :

1. Keuntungan sebelum pajak Rp 244.481.202.337 per tahun  
Keuntungan sesudah pajak Rp 122.240.601.168 per tahun
2. ROI (*Return on Investment*) sebelum pajak  
ROI sesudah pajak 29,48%  
ROI sebelum pajak untuk pabrik beresiko rendah minimal 11% sebesar 14,74% (Aries Newton, 1955)
3. POT (*Pay Out Time*) sebelum pajak  
POT sesudah pajak 4,0 per tahun  
POT sebelum pajak untuk pabrik beresiko rendah maksimal 5 tahun sebesar 2,5 per tahun
4. BEP (*Break Even Point*) adalah 44,81% biasanya berkisar antara 40% - 60% dan SDP (*Shut Down Point*) adalah 28,29% biasanya untuk pabrik kimia pada umumnya berkisar antara 25% - 30%.
5. *Internal Rate of Return* (IRR) adalah 33%  
IRR yang dapat diterima harus lebih besar dari bunga pinjaman di bank, suku bunga bank saat ini 10%.

Dari data hasil perhitungan analisis ekonomi di atas dapat disimpulkan bahwa pabrik etil klorida layak untuk didirikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S. and Newton, R.D. 1955, Chemical Engineering Cost Estimation, Mc Graw Hill International Book Company, New York.
- Badan Pusat Statistik, 2015, Data Impor Benzoic Acid di Indonesia, [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id), 02 Juni 2015
- Brownell, L.E. and Young, E.H., 1959, Process Equipment Design, 1<sup>st</sup> edition, John Wiley and Sons.Inc., New York.
- Bukhanko, N., Warna, J., Samikannu, A., and Mikkola, J.P., 2016, Kinetic Modeling of Gas Phase Synthesis of Ethyl Chlorida from Ethanol and HCl in Fixed Bed Reactor, *Chemical Engineering Sciene*. 142, 310-317.
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F., 1989, An Introduction to Chemical Engineering, Allyn and Bacon Inc., Massachusets.
- Kern, D.Q., 1983, Process Heat Transfer, Mc Graw Hill International Book Company, Tokyo.
- Kirk, R.E. and Othmer, D.F., 2004, Encyclopedia of Chemical Technology, 4<sup>th</sup> edition, A Wiley Interscience Publisher Inc., New York.
- Yaws, C.L., 1999, Chemical Properties Handbook, McGraw Hill Company, New York.